

# PERENCANAAN BANGUNAN PELINDUNG PANTAI TAMBAKHARJO, SEMARANG

Candrawati Mareta P, Wahyu Setia P  
Dwi Kurniani, Priyo Nugroho P

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang 50275  
Telp. +62 24 7474770, Faks. +62 24 7460060

## ABSTRAK

Pantai Tambakharjo berada di wilayah Kota Semarang. Pantai Tambakharjo mengalami kerusakan berupa kemunduran garis pantai.

Pembangunan bangunan pelindung pantai berupa *seawall* merupakan salah satu cara untuk mencegah kerusakan pantai yang lebih parah. Pembangunan bangunan pelindung pantai ini diharapkan dapat mempertahankan garis pantai.

Analisa data angin, data pasang surut, dan data tanah diperlukan untuk menentukan tinggi dan periode gelombang, nilai elevasi muka air laut, dan nilai daya dukung tanah dalam perencanaan bangunan pantai. Selain itu, analisis arus dengan menggunakan model ADCIRC dalam program SMS (*Surface water Modelling System*) dan peramalan perubahan garis pantai dengan program GENESIS (*Generalized Model for Simulating Shoreline Change*) digunakan untuk membantu menentukan alternatif penanganan dalam kurun waktu beberapa tahun mendatang.

Pemilihan bangunan pantai menggunakan metode Analisis Hierarki Proses (AHP). Berdasarkan sistem penilaian AHP diperoleh nilai prioritas yang paling tinggi berupa bangunan pelindung pantai dengan konstruksi *seawall*.

Bangunan *seawall* direncanakan sepanjang pantai Tambakharjo yaitu 1200 meter dan dengan ketinggian mercu 3 meter untuk mereduksi rayapan gelombang.

Kata kunci : gelombang, garis pantai, pasang surut, *seawall*

## ABSTRACT

*Tambakharjo coast located in Semarang. Tambakharjo coast damaged a shoreline setback.*

*Construction of coastal protection building a seawall is one way to prevent more serious damage to the coast. Construction of coastal protection building is expected to maintain the shoreline.*

*Analysis of wind data, tidal data, and soil data is needed to determine height and period of waves, sea level value, and the carrying capacity of the soil in the planning of coastal structures. Besides that, flow analysis using model ADCIRC in program SMS (Surface-water Modelling System) and forecasting changes of shoreline with program GENESIS*

*(Generalized Model for Simulating Shoreline Change) is used to specify an alternative coastal structures within the next few years.*

*Selection of coastal structures using the Analysis Hierarchy Process (AHP). Based on the AHP scoring system obtained the highest priority value that is coastal structure with seawall construction.*

*Seawall construction is planned along the Tambakharjo coast 1200 and with a Mercur elevation 3 meters to reduce the creeping wave.*

*Keywords: wave, shoreline, tidal, seawall*

## **PENDAHULUAN**

Semarang merupakan Ibukota Propinsi Jawa Tengah, sebagai kota yang terletak di wilayah pesisir utara Jawa yang memiliki berbagai potensi. Kota Semarang mengalami perkembangan aktivitas penduduk yang sangat pesat. Di wilayah pesisir pantai Semarang dimanfaatkan seperti: pertambakan, pelabuhan, pariwisata, dan pemukiman. Kawasan ini tidak luput dari permasalahan yang terjadi yaitu erosi yang mengancam keberadaan tambak warga dan terdapat pemukiman penduduk, selain itu juga terjadi abrasi, akresi dan rob. Fenomena ini disebabkan oleh faktor alam diantaranya arus laut, gelombang, kondisi morfologi. Demikian juga faktor manusia yaitu adanya bangunan baru di pantai, perusakan mangrove dan reklamasi pantai.

Akresi atau sedimentasi adalah suatu proses pengendapan material yang terbawa arus ke daerah pantai. Dampak dari sedimentasi adalah pendangkalan di muara sungai akibat dari penumpukan sedimen di muara sungai. Selain itu terjadi penyempitan muara sungai yang menyebabkan terganggunya aliran sungai di muara tersebut. Hal ini menimbulkan masalah yang memicu terjadinya banjir di daerah darat karena terhambatnya laju aliran air sungai menuju laut.

Abrasi adalah proses pengikisan pantai oleh gelombang laut. Dampak dari abrasi dapat merugikan karena mengurangi potensi kawasan pantai dan merusak keberadaan lahan seperti tambak, pertanian serta kegiatan masyarakat di wilayah pantai/pesisir.

Menurut (Nur Yuwono, 1997) bentuk-bentuk kerusakan pantai yang mengancam keamanan prasarana dan sarana yang ada di pesisir pantai, antara lain:

1. Pengurangan daerah pantai berpasir atau lunak disebut erosi, seperti: perubahan garis pantai, daerah yang terkena erosi/gerusan dan pengaruhnya terhadap daerah lain.
2. Pengurangan daerah pantai berbatu/bangunan disebut abrasi, seperti: daerah yang terkena abrasi dan pengaruhnya terhadap daerah sekitar.
3. Sedimentasi dan pendangkalan muara, seperti: pembukaan muara.
4. Kerusakan lingkungan pantai, seperti: kualitas air laut, terumbu karang.

Daerah pantai yang ditinjau terletak di antara muara Banjir Kanal Barat – muara Kali Silandak, tepatnya di Kelurahan Tambakharjo Semarang. Permasalahan yang terjadi di kawasan pantai tersebut adanya erosi yang mengakibatkan mundurnya garis pantai.

## ANALISIS DATA

Analisis data yang meliputi hal-hal berikut:

### 1. Analisis Data Angin

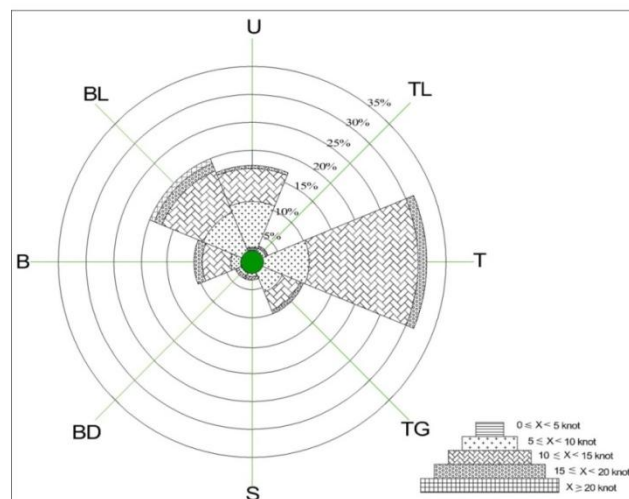
Data angin yang digunakan tiap jam selama 10 tahun dan data angin harian selama 10 tahun. Data angin ini untuk mengetahui arah angin yang berpengaruh di wilayah pantai tersebut sehingga didapat angin dominan dengan mawar angin (*wind rose*). Pembagian data angin dikelompokkan berdasarkan kelompok interval kecepatan dan arah angin, kemudian akan didapat arah angin dominan.

Presentase angin didapat dari data BMG-Stasiun Meteorologi Maritim, Semarang dari tahun 2002-2011.

**Tabel 1. Presentase Angin (2002-2011)**

Arah	Sudut datang angin (...)°	Kecepatan angin (m/dt)					Total
		$0 \leq x < 5$	$5 \leq x < 10$	$10 \leq x < 15$	$15 \leq x < 20$	$20 \leq x$	
Utara	337,5 - 22,5	1%	8%	7%	1%	0%	17%
Timur Laut	22,5 - 67,5	0%	1%	1%	0%	0%	2%
Timur	67,5 - 112,5	0%	12%	18%	3%	0%	33%
Timur Tenggara	112,5 - 157,5	0%	5%	5%	1%	0%	11%
Selatan	157,5 - 202,5	0%	1%	1%	0%	0%	2%
Barat Daya	202,5 - 247,5	0%	1%	1%	0%	0%	2%
Barat	247,5 - 292,5	0%	3%	5%	3%	2%	13%
Barat Laut	292,5 - 337,5	0%	9%	8%	2%	1%	20%

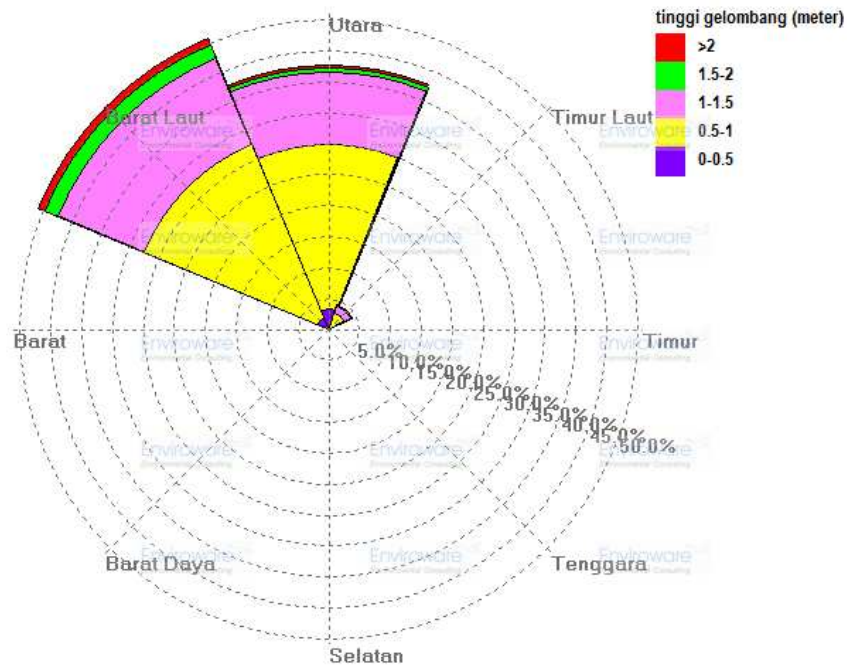
Dari hasil perhitungan presentase angin dan mawar angin (*wind rose*) selama 10 tahun terakhir, didapatkan arah angin dominan dari arah angin barat laut sebesar 20%.



**Gambar 1. Windrose Pantai Tambakharjo, Semarang**

### 2. Analisis Data Gelombang

Data angin harian selama 10 tahun untuk melakukan peramalan gelombang sehingga menghasilkan tinggi dan periode gelombang laut dalam. Adapun peramalan gelombang yaitu data angin di darat ditransformasikan menjadi data angin di laut, kemudian diberi faktor tegangan angin dengan harga *fetch*. Dari nilai tegangan dan harga *fetch* dicari tinggi gelombang dan periode gelombang dengan menggunakan grafik peramalan gelombang. Kala ulang gelombang digunakan untuk menentukan tinggi gelombang rencana (Hr) di laut dalam untuk kala ulang  $n$  tahun.



**Gambar 2. Waverose Hasil Peramalan Tahun 2001-2011**

Untuk keperluan dalam perencanaan didapatkan hasil peramalan gelombang berupa  $H_{\max}$  dan  $H$  representatif.

**Tabel 2. Hasil Peramalan Gelombang (2002-2011)**

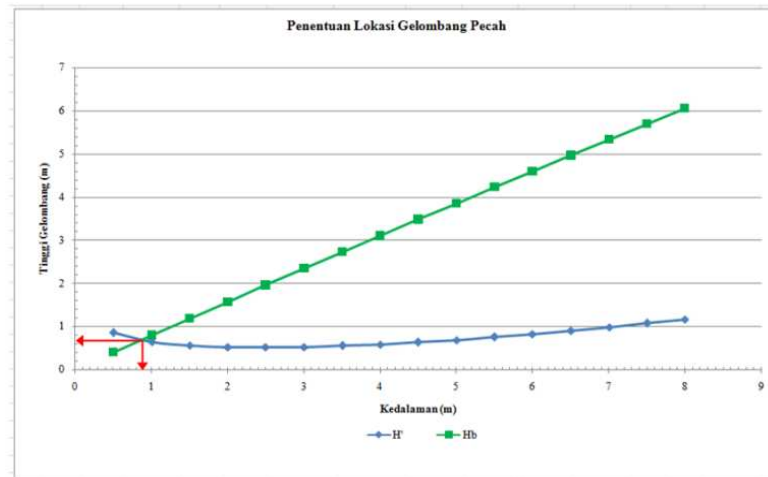
Tahun	Arah	Gelombang Maksimal		Gelombang Representatif					
		Hmax	Tmax	H1	T1	H10	T10	H33	T33
2002	Barat laut	2.98	6.78	2.98	6.78	2.38	6.18	1.90	5.64
	Utara	2.41	6.23	2.41	6.23	1.62	5.29	1.25	4.76
	Timur laut	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	Barat laut	2.98	6.78	2.98	6.78	1.96	5.72	1.56	5.22
	Utara	2.41	6.23	2.41	6.23	1.45	5.05	1.13	4.56
	Timur laut	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2004	Barat laut	2.98	6.78	2.98	6.78	1.72	5.38	1.20	4.64
	Utara	1.44	5.07	1.44	5.07	1.28	4.83	1.12	4.56
	Timur laut	0.92	4.25	0.92	4.25	0.92	4.25	0.85	4.10
2005	Barat laut	2.98	6.78	2.98	6.78	1.76	3.95	1.18	3.95
	Utara	2.41	6.23	2.41	6.23	1.59	5.23	1.21	4.68
	Timur laut	1.94	5.71	1.94	5.71	1.94	5.71	1.18	4.61
2006	Barat laut	1.75	5.48	1.75	5.48	1.56	5.23	1.31	4.87
	Utara	1.65	5.35	1.65	5.35	1.52	5.18	4.96	0.00
	Timur laut	1.44	5.07	1.44	5.07	1.44	5.07	1.17	4.66
2007	Barat laut	2.18	5.98	2.18	5.98	1.65	5.34	1.37	4.95
	Utara	1.65	5.35	1.65	5.35	1.52	5.18	1.33	4.91
	Timur laut	1.44	5.07	1.44	5.07	1.44	5.07	1.44	5.07
2008	Barat laut	2.09	5.88	2.09	5.88	1.69	5.38	1.36	4.93
	Utara	1.65	5.35	1.65	5.35	1.47	5.11	1.29	4.84
	Timur laut	1.36	4.96	1.36	4.96	1.36	4.96	1.23	4.76
2009	Barat laut	2.18	5.98	2.18	5.98	1.68	5.37	1.32	4.87
	Utara	1.94	6.23	1.94	6.23	1.67	5.36	1.37	4.94
	Timur laut	1.50	5.16	1.50	5.16	1.50	5.16	1.50	5.16
2010	Barat laut	3.95	7.59	3.95	7.59	2.02	5.70	1.42	4.96
	Utara	3.95	7.59	3.95	7.59	1.99	5.66	1.45	5.00
	Timur laut	1.65	5.35	1.65	5.35	1.65	5.35	1.65	5.35
2011	Barat laut	2.18	5.98	2.18	5.98	1.88	5.63	1.51	5.15
	Utara	1.22	4.74	1.22	4.74	1.20	5.29	1.08	4.51
	Timur laut	2.41	6.23	2.41	6.23	2.41	6.23	1.74	5.37

Perhitungan tinggi gelombang dengan kala ulang menggunakan dua metode yaitu distribusi *Gumbel (Fisher-Tippet Type I)* dan distribusi *Weibull*.

**Tabel 3. Perbandingan Hasil Perhitungan H dan T dengan Kala Ulang**

Periode Ulang (Tahun)	Fisher Tippet I		Weibull	
	H (m)	T (s)	H (m)	T(s)
2	2.53	7.09	2.38	6.89
5	3.13	7.85	2.93	7.60
10	3.53	8.36	3.44	8.24
25	4.03	9.00	4.18	9.20
50	4.40	9.48	4.80	9.99
100	4.77	9.95	5.45	10.82

Hasil yang digunakan adalah metode *Fisher-Tippet Type I* kala ulang 25 tahun karena hasil perbandingan antara metode *Fisher-Tippet Type I* dan metode *Weibull* menunjukkan bahwa standar deviasi metode *Fisher-Tippet Type I* lebih kecil daripada metode *Weibull* sehingga tingkat interval keyakinannya relatif besar.



**Gambar 3. Penentuan Gelombang Pecah dengan  $H_{33}$**

Hasil dari grafik di atas menunjukkan lokasi gelombang pecah untuk  $H_{33}$  pada kedalaman  $d_b = 0,9$  m dan  $H_b = 0,8$  m

### 3. Analisis Data Pasang Surut

Hasil perhitungan elevasi muka air laut dari data pasang surut tanggal 1-15 Desember 2011 sebagai berikut:

HWL = 115,585 cm

$$\begin{aligned} \text{MSL} &= \frac{\sum \text{Semua data pasang surut}}{n} \rightarrow n=384 \\ &= \frac{22235}{384} \\ &= 57,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

LWL = 28,82 cm

### 4. Analisis Data Tanah

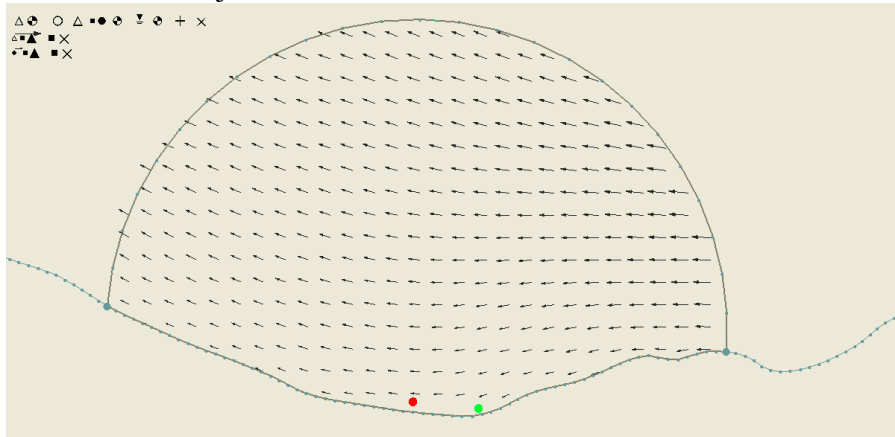
Analisis data tanah untuk mengetahui daya dukung tanah untuk perencanaan bangunan perlindungan pantai. Hasil yang didapat sebagai berikut:

- Dari hasil titik sondir ringan / manual (S1) menunjukkan bahwa lapisan lensa pasir sekitar 3,00 m dengan nilai tahanan konus (*Cone Resistance*) antara  $q_c = 10,0 \text{ kg/cm}^2$  sampai  $q_c = 25,0 \text{ kg/cm}^2$ , dibawahnya sampai pada kedalaman -14,00 m dari muka tanah setempat terdapat lapisan lempung dengan konsistensi lunak dengan tahanan konus (*Cone Resistance*) antara  $q_c = 3,0 \text{ kg/cm}^2$  sampai  $q_c = 8,0 \text{ kg/cm}^2$ , dan kedalaman -14,20 m sampai -20,80 m terdapat lapisan lempung dengan konsistensi lunak sampai teguh dengan nilai tahanan konus (*Cone Resistance*) antara  $q_c = 8,0 \text{ kg/cm}^2$  sampai  $q_c = 12,0 \text{ kg/cm}^2$ .
- Untuk boring B1 (dibagian hulu) lensa pasir tipis terdapat pada kedalaman -3,00 m sampai -5,00 m dan dibawahnya terdapat lapisan lempung sangat lunak. Untuk boring B2 dari dasar laut sampai pada kedalaman -3,50 m terdapat lapisan pasir lepas dan dibawahnya sampai pada kedalaman -10,00 m terdapat lapisan lempung sangat lunak sampai lunak.
- Hasil Uji konsolidasi menunjukkan pada kedalaman -8,00 m sampai -20,00 m nilai coefisien compression ( $C_c$ ) sangat besar antara 0,47 sampai 0,69.

- Nilai *Plastisity Index (PI)* pada kedalaman -8,00 m sampai -20,00 m relatif besar antara nilai  $PI = 38-44$ , hal ini menunjukkan bahwa lapisan tanah tersebut mempunyai sifat kurang baik terhadap perubahan cuaca

#### 5. Pemodelan Pergerakan Arus dengan Program SMS

Dari proses *running* ADCIRC didapatkan pola pergerakan arus di Pantai Tambakharjo selama 15 hari atau 360 jam



**Gambar 4. Contoh Pergerakan Arus Pantai Tambakharjo**

Selain pola pergerakan arus, program SMS juga didapatkan nilai elevasi pasang surut yaitu:

HWL = + 61,80 cm

MSL = - 5,85 cm

LWL = - 73,50 cm

Beda tinggi pasang surut sebesar 135,3 cm

#### 6. Analisis Perubahan Garis Pantai dengan Program GENESIS

Berdasarkan prediksi *GENESIS* kondisi pantai Tambakharjo saat ini, pantai Tambakharjo tidak mengalami perubahan garis pantai yang besar. Hal ini dikarenakan program *GENESIS* tidak dapat menganalisa perpindahan sedimen pantai yang mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai (*On-Offshore Sediment Transport*).

### PERENCANAAN TEKNIS

Pada perencanaan bangunan pelindung pantai Tambakharjo perlu mempertimbangkan beberapa aspek yaitu:

1. Kemudahan Pelaksanaan
2. Biaya Konstruksi
3. Kemudahan Pemeliharaan
4. Kemampuan Membentuk Sedimentasi
5. Kemampuan Meredam Tinggi Energi Gelombang
6. Kemampuan Menahan *Longshore Sediment Transport*
7. Kemampuan Menahan *On-Offshore Sediment Transport*

Penilaian aspek-aspek dalam menentukan bangunan pelindung pantai menggunakan metode Analisis Hierarki Proses (AHP).

**Tabel 4. Matrix Nilai Prioritas**

Alternatif	Aspek							Nilai Prioritas
	A	B	C	D	E	F	G	
	1	2	3	4	5	6	7	
<b>Groin</b>	0.6134	0.7392	1.0743	0.6268	0.3612	0.4137	0.9427	4.7714
<b>Breakwater</b>	0.4324	0.5212	0.7575	0.8891	0.5101	0.2929	1.3314	4.7346
<b>Revetment</b>	0.8508	1.0254	1.4903	1.2333	0.8383	0.6798	2.1878	8.3056
<b>Seawall</b>	1.1991	1.4451	2.1003	1.7381	0.8383	0.6798	2.1878	10.1884

Berdasarkan sistem penilaian di atas diperoleh nilai prioritas yang lebih tinggi adalah penanganan dengan *seawall* yaitu sebesar 10,1884. Maka dipilih penanganan dengan sistem *seawall* dalam permasalahan garis pantai Tambakharjo.

Elevasi muka air laut rencana dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$DWL = MHWL + S_w + \Delta h + SLR$$

dimana:

$DWL$  = *Design Water Level*/Elevasi Muka Air Laut Rencana (m)

$MHWL$  = *Mean High Water Level* / Elevasi muka air rata-rata tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati (m)

$S_w$  = *Wave Set Up* / kenaikan elevasi muka air laut karena pengaruh gelombang (m)

$\Delta h$  = *Wind Set Up* / kenaikan elevasi muka air laut karena pengaruh angin badai (m)

$SLR$  = *Sea Level Rise* / kenaikan elevasi muka air laut karena pemanasan global (m)

Dari perhitungan rumus di atas didapat nilai  $DWL = +1,19$  m

*Seawall* dirancang agar tidak mengalami limpasan (*overtopping*). Rumus yang digunakan untuk menghitung elevasi mercu *seawall* adalah sebagai berikut:

$$\text{Elevasi}_{\text{mercu}} = DWL + R_u + F_b$$

dimana:

$DWL$  : *Design Water Level* (m)

$R_u$  : *Run Up* gelombang (1,31 m)

$F_b$  : *Free board*/tinggi jagaan (0,5 ~ 1,5 m)

Elevasi mercu = 3,00 m

Dalam perhitungan *seawall* digunakan masukan data berdasarkan tabel koefisien stabilitas  $K_D$  dan koefisien lapis lindung  $K_A$ . Data yang dimasukkan antara lain :

- Jenis material lapis lindung : Batu Alam
- Gradasi permukaan : kasar
- Penempatan *armor* : acak
- Koefisien stabilitas ( $K_D$ ) : 2
- Sudut kemiringan ( $\theta$ ) :  $26,57^\circ$  ( $\cot \theta = 2$ )
- Jumlah lapis ( $n$ ) : 2 lapis
- Koefisien lapis lindung ( $K_A$ ) : 1,15
- Porositas ( $P$ ) : 37%
- Berat jenis air laut ( $\gamma_a$ ) :  $1,03 \text{ t/m}^3$
- Berat jenis batu ( $\gamma_b$ ) :  $2,65 \text{ t/m}^3$



Perhitungan struktur lapis lindung luar (*Armour Stone*) didapat sebagai berikut:

$$W_1 = \frac{\gamma_b H^3}{K_D (Sr - 1)^3 \cot \theta}$$

$$D_1 = \left( \frac{W_1}{\gamma_b} \right)^{1/3}$$

$$W_{l \text{ baru}} = D_1^3 \times \gamma_b$$

$$t_1 = n K_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{W_1}{\gamma_b}}$$

dimana:

$W_1$  : berat material lapis lindung luar (ton)

$H$  : tinggi gelombang rencana (0,85 m)

$K_D$  : koefisien stabilitas material lapis lindung (2,8)

$\theta$  : sudut lereng *seawall* ( $\cot \theta = 2$ )

$\gamma_b$  : berat jenis batu (2,65 t/m<sup>3</sup>)

$\gamma_a$  : berat jenis air laut (1,03 t/m<sup>3</sup>)

$Sr$  : perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air laut = 2,573

$t_1$  : tebal material lapis lindung luar (m)

$n$  : jumlah material lapis lindung (2 buah)

$K_{\Delta}$  : koefisien lapis lindung (1,15)

Didapatkan nilai  $D_1 = 0,30$  m,  $W_{l \text{ baru}} = 75$  kg, dan  $t_1 = 0,70$  m.

Perhitungan struktur lapis inti didapat sebagai berikut:

$$W_2 = \frac{W_1}{15}$$

$$t_2 = n K_{\Delta} \sqrt[3]{\frac{W_2}{\gamma_b}}$$

Didapatkan nilai  $W_2 = 5$  kg, dan  $t_2 = 0,30$  m

Perhitungan struktur perlindungan kaki didapatkan nilai  $W_{\text{toe}} = 42$  kg,  $D_{\text{toe}} = 25$  cm, dan lebar pelindung kaki  $B_{\text{toe}} = 2,00$  m

Pada perencanaan bangunan pelindung pantai Tambakharjo dapat dilaksanakan selama 4 bulan dengan total biaya yang dikeluarkan Rp 6.291.187.000,00 (terbilang enam milyar dua ratus sembilan puluh satu juta seratus delapan puluh tujuh ribu rupiah).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan :

1. Pantai Tambakharjo mengalami abrasi yang disebabkan oleh gelombang serta arus pasang surut. Akibat abrasi terjadi perubahan garis pantai dan semakin hilangnya daerah disekitar pantai seperti tambak milik warga.
2. Hasil perhitungan pasang surut diperoleh HHWL = 114,030 m, MHWL = 80,660 m, MSL = 66,572 m, LLWL = 19,110 m. Dari grafik pasang surut tipenya adalah campuran condong ke harian tunggal.
3. Berdasarkan gambar *windrose* dari analisa data angin selama 10 tahun terlihat arah angin dominan adalah dari barat laut, utara dan timur laut.

4. Dari simulasi program SMS didapatkan pergerakan arus yang cukup kuat di sepanjang pantai Tambakharjo sehingga berbahaya bagi kondisi kehidupan sosial masyarakat. Karena di belakang garis pantai terdapat area tambak dan *runway* Bandara Ahmad Yani.
5. Berdasarkan prediksi *GENESIS* kondisi pantai Tambakharjo saat ini, pantai Tambakharjo tidak mengalami perubahan garis pantai yang besar. Hal ini dikarenakan program *GENESIS* tidak dapat menganalisa perpindahan sedimen pantai yang mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai (*On-Offshore Sediment Transport*).
6. Alternatif penanganan yang terpilih untuk permasalahan perubahan garis pantai Tambakharjo adalah dengan konstruksi *seawall*. Konstruksi *seawall* berfungsi untuk menjaga kemunduran garis pantai (abrasi) dari besarnya gelombang yang diakibatkan oleh global warming dan hembusan angin yang besar.
7. Pembangunan *seawall* sepanjang 1200 meter dengan ketinggian mercu 3 meter

Saran :

1. Melaksanakan pembangunan *seawall* secepatnya agar perubahan garis pantai yang terjadi tidak semakin besar dan tidak sesuai dengan perencanaan.
2. Melakukan pengecekan dan perawatan berkala pada bangunan *seawall* agar dapat berfungsi dengan baik

#### DAFTAR PUSTAKA

- CERC, 1984, *Shore Protection Manual*, Volume I, US Army Corps of Engineering, Washington (SPM, 1984).
- CERC, 1984, *Shore Protection Manual*, Volume II, US Army Corps of Engineering, Washington (SPM, 1984).
- Hanson, Hans and Nicholas C. Kraus, 1989, *GENESIS : Generalized Model for Simulating Shoreline Change*, Report 1:Technical Reference, US Army Corps of Engineering, Washington.
- Nugroho, Denny, 2008, *Modul Praktikum Programer Oseanografi*, FPIK-Universitas Diponegoro, Semarang.
- Triatmodjo, Bambang, 1999, *Teknik Pantai*, Edisi Kelima, Beta Offset, Yogyakarta.
- Yuwono, Nur, 1992, *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Vol. 2, Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU-IT-UGM, Yogyakarta.